

**EXPOSURE, MASK, EXPOSURE MASK SUBSTRATE AND ITS PRODUCTION**

Patent Number: JP6083034  
Publication date: 1994-03-25  
Inventor(s): ITO SHINICHI  
Applicant(s): TOSHIBA CORP  
Requested Patent: ☐ JP6083034  
Application Number: JP19930048301 19930309  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G03F1/08; H01L21/027  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PURPOSE:** To provide a highly accurate exposure mask and its production by which plural semitransparent films can be easily formed without defects or deposition of dust and the production process can be simplified.  
**CONSTITUTION:** This exposure mask has a mask pattern formed on a light-transmitting substrate. The mask pattern contains a semitransparent film pattern in which the optical length for the exposure light differs from that in the transparent part of the light-transmitting substrate 10 by a specified amount. This semitransparent film pattern consists of laminated layers of a Si layer 11 and a Si<sub>2</sub>N<sub>4</sub> layer 12, each having the optimum film thickness. These layers contain the same element (Si) but have different compsn.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-83034

(43)公開日 平成6年(1994)3月25日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 3 F 1/08	A	7369-2H		
H 0 1 L 21/027		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	3 0 1 P
		7352-4M		3 1 1 W

審査請求 未請求 請求項の数6(全 21 頁)

(21)出願番号 特願平5-48301

(22)出願日 平成5年(1993)3月9日

(31)優先権主張番号 特願平4-191066

(32)優先日 平4(1992)7月17日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 伊藤 信一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式  
会社東芝研究開発センター内

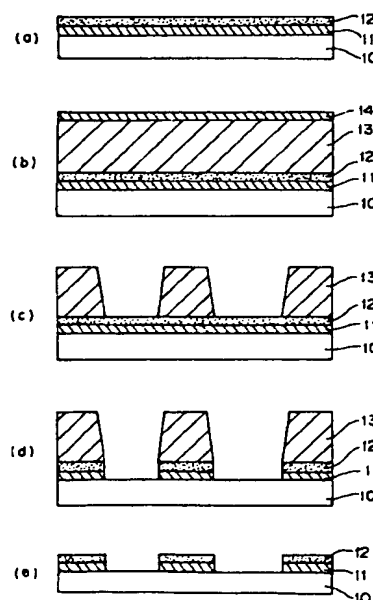
(74)代理人 弁理士 木村 高久

(54)【発明の名称】 露光用マスク、露光マスク用基板及びその製造方法

## (57)【要約】

【目的】 本発明は、ごみの付着や欠陥の発生を招くことなく複数の半透明膜を容易に形成することができ、工程の簡略化をはかり得、高精度の露光マスクを提供することを目的とする。

【構成】 本発明では、透光性基板上にマスクパターンを形成した露光用マスクにおいて、マスクパターンは、露光光に対する光路長が透光性基板10の透明部分とは所定量だけ異なるように構成された半透明膜パターンを含み、且つこの半透明膜パターンは同一の元素(Si)を含む組成の異なるSi層11とSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層12を、それぞれ最適な膜厚に積層して形成されていることを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 透光性基板上にマスクパターンを形成した露光用マスクにおいて、

前記マスクパターンは、露光光に対する光路長が前記透光性基板の透明部分とは所定量だけ異なるように構成された半透明膜パターンを含み、且つこの半透明膜パターンは同一の元素を含む組成の異なる層を積層して形成されていることを特徴とする露光用マスク。

【請求項2】 透光性基板上に露光光に対する光路長が透明部分とは所定量だけ異なるように構成された半透明膜を含むマスクパターンを形成した露光用マスクの製造方法において、

前記半透明膜として、同一の元素を含む組成の異なる層を順次積層することを特徴とする露光用マスクの製造方法。

【請求項3】 透光性基板上に、

前記透光性基板の透明部との位相差が、 $180 \pm 10$ 度の範囲で異なりかつ振幅透過率10乃至40%となるように調整された単層の半透明層または少なくとも1層の半透明層と透明層の多層の第1の半透明膜からなる半透明パターンと、

前記半透明パターンの一部の領域にさらに積層され、該領域の振幅透過率が5%以下となるように調整された遮光層あるいは振幅透過率10乃至40%の第2の半透明膜とを具備したことを特徴とする露光用マスク。

【請求項4】 前記一部の領域が、少なくともウェハ上に転写されたとき半導体素子として寄与する領域の外側周辺領域を含むことを特徴とする請求項(3)記載の露光用マスク。

【請求項5】 透光性基板上に、

前記透光性基板の透明部との位相差が、 $180 \pm 10$ 度の範囲で異なりかつ振幅透過率10乃至40%となるように調整された単層の半透明層または少なくとも1層の半透明層と透明層とからなる第1の半透明膜と、

前記第1の半透明膜上全体または部分的にさらに積層され、該領域の振幅透過率が5%以下となるように調整された遮光層あるいは振幅透過率10乃至40%の第2の半透明膜と、

前記第1の半透明膜と前記第2の半透明膜との間に介在せしめられた酸化膜、窒化膜、水酸化膜、炭化膜またはハロゲン化膜とを具備したことを特徴とする露光マスク用基板。

【請求項6】 透光性基板上に、前記透光性基板の透明部との位相差が、 $180 \pm 10$ 度の範囲で異なりかつ振幅透過率10乃至40%となるように調整された単層の半透明層または少なくとも1層の半透明層と透明層とからなる第1の半透明膜を形成する第1の半透明膜形成工程と、

前記第1の半透明膜上に第3の膜を形成する第3の膜形成工程とさらにこの上層に、全体としての振幅透過率が

5%以下となるように調整された遮光層あるいは振幅透過率10乃至40%の第2の半透明膜を形成する第2の半透明膜形成工程と、

前記第3の膜をエッチングストッパーとして前記第2の半透明膜を選択的に除去するエッチング工程とを含むことを特徴とする露光用マスクの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光リソグラフィ技術に用いられる露光用マスクに係わり、特に半透明膜パターンからなる位相シフタを形成した露光用マスク、露光マスク用基板、及び露光用マスクの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路は、高集積化、微細化の一途を辿っている、このような半導体集積回路の製造に際し、リソグラフィ技術は加工の要として特に重要である。

【0003】現在のリソグラフィ技術では、マスクパターンを縮小光学系を介してLSI基板上に投影露光する方法が主に用いられているが、高圧水銀ランプを光源とするなら最小線幅0.5 $\mu$ m程度が限度である。0.5 $\mu$ m以下のパターン寸法にはKrFエキシマレーザ或いは電子線を用いた直接描画技術や、X線等倍露光技術の開発が進められているが、量産性、プロセスの多用性等の理由から、光リソグラフィに対する期待は非常に大きくなっている。

【0004】このような状況の中で光源に対しては、g線、i線、エキシマレーザ、X線等種々の光源の採用が検討されており、またレジストに対しても新レジストの開発やRELのような新レジスト処理が検討され、さらには多層レジストプロセス、CEL、イメージリバース法等も研究が進められている。

【0005】一方、最近では露光光源を変えずに微細化をはかる試みがなされている。その1つの手法として、位相シフト法がある。位相シフト法とは、光透過部に位相反転層を設け隣接するパターンからの光の回折の影響を除去し、パターン精度の向上をはかるものである。

【0006】この位相シフト法の中でも、隣接する2つの光透過部に対し交互に180度の位相差を設けるようにしたレベンソン型位相シフトマスクがある。この方法では3つ以上のパターンが隣接する場合に効果を発揮するのは難しい。即ち、2つのパターンの光位相差を180度とした場合、もう1つのパターンは先の2つのパターンのうち一方と同位相となる。その結果、位相差180度のパターン同士は解像するが、位相差0度のパターン同士では非解像となるという問題がある。この問題を解決するためには、デバイス設計を根本から見直す必要があり、直ちに、実用化するにはかなりの困難を有する。

【0007】そこで位相シフト法を用い、かつデバイス

設計変更を必要としない手法としてハーフトーン型位相シフトマスクがある。この位相シフト法の効果を最大限に生かすには、透明部分と光半透過膜を透過した光の位相差と両者の振幅透過率比を最適化することが重要である。この位相差と振幅透過率比は、これらの膜の光学定数（複素屈折率  $n - ik$ ；ここでは  $i$  は単位虚数）と膜厚により一意的に決まる。つまり、所望の位相差と振幅透過率比とを得るためには光学定数と膜厚とがある関係を満足する必要がある。しかしながら、光学定数は物質に固有の値であるため、所望の条件を単層膜で満足させることは難しい。

【0008】図19は理想的なハーフトーン型位相シフト膜の構造を示したものである。この手法で形成されたマスクは、透光性基板1上に光透過部1aと光半透過膜1bとを形成してなり、光半透明膜1bを光透過部1aに対する振幅透過率10～40%で形成し、かつここを透過する光の位相を光透過部に対し180度変化させるものである。これらの目的を満足させるための第1の層2と第1の層2により生じた位相差を併せて180度となるように調整する第2の層3との2層構造によって光半透過膜1bを構成している。

【0009】このように従来のハーフトーン型位相シフトマスクでは、ハーフトーン部を2層構造とし第1の層2で振幅透過率を調整し、第2の層3で第1の層2によって生じた位相差と併せて180度となるように調整しているが、これらの層に用いる材料として従来は第1の層にCr、MoSi等を用い、第2の層にSiO<sub>2</sub>、MgF<sub>2</sub>、CaF<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等を用いている。従って、ハーフトーン部を形成するために、2種類の異なった環境により膜形成を行う必要がある。例えば、第1の膜作成のためにスパッタ装置を用いてCrを成膜し、第2の膜作成のためにCVD法を用いてSiO<sub>2</sub>を成膜する方法などである。

【0010】しかしながら、この種の方法では成膜を2回に別けて行うため、搬送時のごみの付着等が生じ、欠陥が増大するなどの問題が生じる。また、加工に際しても、加工する元素が異なるため複数種の異質のガス（例えばCr/SiO<sub>2</sub>膜で半透明膜が構成されている場合、Crを塩素系のガスで、SiO<sub>2</sub>を弗素系のガスで加工する）を用いてエッチングを行わなくてはならない等の問題がある。また、第2の層に透明膜を用いているが、透明膜は屈折率が小さいため位相シフトの膜厚は厚くなる。このため、加工精度が悪いという問題もある。

【0011】また、露光工程ではマスク上のパターン領域以外に存在するアライメント用あるいは検査用マークから露光光が漏れるのを防ぐため、ブラインドが投影露光装置に設けられ、パターン領域外の光をカットしている。なおブラインドの像はウェハ上で100μm程度の像のぼやけを生じるため、ウェハ上でパターン領域を区切る役割はない。このため従来は図20(a)に示すよう

にマスク上でパターン領域外周辺を覆うように遮光パターン101を形成していた。しかしながら半透明膜のみで露光用マスクを形成した場合、従来、パターン領域を区切ることを目的としていた、パターン領域外周辺部に存在する遮光パターンの代わりに図20(b)に示すように半透明パターン201を用いることになる。このときパターン領域境界に存在する半透明膜を通過した光は、ウェハ上で隣接するパターンに対し半透明膜の透過率×露光量だけ照射することになる。このため図21に示すように照射領域では、実質的に露光量が過剰となりパターン領域の細りが生じたり、さらには焦点深度が不足するという問題が生じていた。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、ハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、半透明膜の形成に際して工程数が多くなると共に、ごみの付着、欠陥の発生が生じるという問題があり、位相シフト効果を最大限に発揮させることは困難であった。

【0013】また、半透明膜のみで露光用マスクを形成した場合、従来パターン領域を区切ることを目的としていたパターン領域外周辺分でも半透明パターンを用いることになるため、パターン領域境界に存在する半透明膜を通過した光は、ウェハ上で隣接するパターンに対し半透明膜の透過率×露光量だけ照射することになる。このため照射領域では、実質的に露光量が過剰となりパターン領域の細りが生じたり、さらには焦点深度が不足するという問題があった。

【0014】本発明は、前記実情に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、ごみの付着や欠陥の発生を招くことなく複数層の半透明膜を容易に積層することができ、工程の簡略化をはかり得て、かつ位相シフト効果を最大限に発揮させることのできる露光マスク及びその製造方法を提供することにある。

【0015】また本発明では、半透明膜のみで露光用マスクを形成した場合にも、パターン領域の細りが生じたり、さらには焦点深度が不足するというような問題のない露光マスクを提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために本発明は次のような構成を採用している。

【0017】即ち本発明の第1は、透光性基板上にマスクパターンを形成した露光用マスクにおいて、マスクパターンは、露光光に対する光路長が前記透光性基板の透明部分とは所定量だけ異なるように構成された半透明膜パターンを含むものであり、半透明膜パターンは同一の元素を含む組成の異なる層を積層して形成したことを特徴とする。

【0018】また本発明の第2は、透光性基板上に露光光に対する光路長が透明部分とは所定量だけ異なるように構成された半透明膜を含むマスクパターンを形成した

露光用マスクの製造方法において、半透明膜として、同一の元素を含む組成の異なる層を順次積層することを特徴とする。ここで同一の元素を含む組成の異なる層を順次積層するに際しては、ターゲットを用いたスパッタリング法、蒸着法、同一元素を含む異なるガスを順次切り替えることによって形成するCVD法等を用いて形成される。

【0019】また、本発明の望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

【0020】(1) 半透明膜は、シリコン、シリコン化合物、シリコンを含む混合物、ゲルマニウム、ゲルマニウム化合物、ゲルマニウムを含む混合物、又はCr, Al, Ti, Sn, In, Cd或いは他の金属元素、金属化合物及びこれらの酸化物、窒化物、水素化物、炭化物、ハロゲン化物のうち、少なくとも1種類以上を含む混合物の組成比を制御した複数の層からなること。

【0021】(2) 複数層の半透明膜のうち少なくとも1つの層を、スパッタリングにより作成し、その雰囲気中に窒素ガス、酸素ガス、水素ガス、アセチレン等のガス又はハロゲン元素を含むガスを混入させて、窒素、酸素又はハロゲン元素の組成比を制御することにより、振幅透過率を調整しつつ他の層を成膜すること。

【0022】(3) 成膜された半透明膜パターン表面にさらにイオン注入を行う工程や熱処理工程によって結晶状態を変化させることにより、振幅透過率を微調整する改質工程を含むこと。

【0023】本発明の第3では、透光性基板上にマスクパターンを形成した露光用マスクにおいて、マスクパターンは、露光光に対する光路長が前記透光性基板の透明部分とは所定量だけ異なるように構成された半透明膜パターンを含み、この半透明膜パターンの上に部分的あるいは全体にさらに半透明膜あるいは遮光膜を積層したことを特徴とする。

【0024】すなわち本発明の露光用マスクは、透光性基板上に、前記透光性基板の透明部との位相差が、 $180 \pm 10$ 度の範囲で異なりかつ振幅透過率10乃至40%となるように調整された単層の半透明層または少なくとも1層の半透明層と透明層とからなる多層の第1の半透明膜からなる半透明パターンと、前記半透明パターンの一部の領域にさらに積層され、該領域の振幅透過率が5%以下となるように調整された遮光層あるいは振幅透過率10乃至40%の第2の半透明膜とを具備したことを特徴とする。

【0025】望ましくは、前記1部の領域が、少なくともウェハ上に転写されたとき半導体素子として寄与する領域の外側周辺領域を含むようにしている。

【0026】望ましくは、位相シフト層を構成する第1の半透明膜と、位相シフト上に形成する第2の半透明膜とが同一の組成であるようにしている。

【0027】また望ましくは、位相シフト層を構成する

第1の半透明膜と、位相シフト上に形成する第2の半透明膜とが少なくとも同一の元素を含むようにしている。

【0028】望ましくはこの積層領域がウェハ上に転写される領域外であるようにしている。なおここで第1の半透明膜パターンは、露光光に対する光路長が前記透光性基板の透明部分とは所定量だけ異なるように屈折率 $n$ と消衰係数 $k$ とを調整した半透明膜パターン単層であってもよいし、1層で屈折率 $n$ のみを調整し他の層で消衰係数 $k$ を調整するようにしてもよい。

【0029】本発明の第4の露光マスク用基板では、透光性基板上に、前記透光性基板の透明部との位相差が、 $180 \pm 10$ 度の範囲で異なりかつ振幅透過率10乃至40%となるように調整された単層の半透明層または少なくとも1層の半透明層と透明層からなる多層の第1の半透明膜と、前記第1の半透明膜上全体または部分的にさらに積層され、該領域の振幅透過率が5%以下となるように調整された遮光層あるいは振幅透過率10乃至40%の第2の半透明膜と、前記第1の半透明膜と前記第2の半透明膜との間に介在せしめられた酸化膜、窒化膜、水酸化膜、炭化膜またはハロゲン化膜のいずれかからなる第3の膜とを具備している。

【0030】本発明の第5の露光用マスクの製造方法では、透光性基板上に、前記透光性基板の透明部との位相差が、 $180 \pm 10$ 度の範囲で異なりかつ振幅透過率10乃至40%となるように調整された単層または多層の第1の半透明膜を形成し、前記第1の半透明膜上に第3の膜を形成し、さらにこの上層に、全体としての振幅透過率が5%以下となるように調整された遮光層あるいは振幅透過率10乃至40%の第2の半透明膜を形成し、この第3の膜形成工程で形成された膜をエッチングストッパーとして前記第2の半透明膜を選択的に除去するエッチング工程とを含むようにしている。この第3の膜は、導電性膜、酸化膜、水酸化膜、窒化膜、炭化膜またはハロゲン化膜とする。

【0031】望ましくは位相シフト層と半透明層または遮光層との間に導電性膜を介在させるようにしている。

【0032】望ましくは、酸化膜を自然酸化によりあるいは酸素元素を含むプラズマにより、あるいは酸化溶液中に浸漬することによる酸化により形成するようにしている。

【0033】

【作用】本発明によれば、半透明膜を少なくとも2層で形成し、各層の一部の元素を共通にしているため、半透明膜を同一の装置で作成することができ、さらにそのパターンニングに際しても同種のエッチャントでエッチングすることができる。従って、半透明膜を形成するための工程の簡略化をはかることが可能となる。また、半透明膜として所望の振幅透過率と位相差を得る単一層の組成が分かったとしても、その組成の物質を実現するのは難しい場合がある。このとき、上記単一層の組成と、一部

組成が異なる複数の層の全体としての組成が等しくなるように設定すれば、作り易い安定な複数の層で結果として単一層と等価な層を形成することができる。つまり、本発明のように同一元素を含む複数種の層で半透明膜を形成することにより、製造工程の簡略化をはかることができると共に、位相シフト効果を最大限に発揮させることが可能となる。

【0034】本発明の第3によれば、半透明パターンを含むマスクにおいてパターン領域外の内少なくとも転写によるウェハ上に光が到達する領域で、露光光を遮光するようにしているため、パターンの細りや焦点深度不足を防ぐことができる。例えば、強度透過率2%を有するi線用半透明マスクを用いたポジレジストに対する露光結果では、0.55 $\mu$ mライン・アンド・スペースパターンで適性露光量で所望の寸法に改造したパターンがさらに露光量 $\times$ マスクの強度透過率に相当する光を1度照射されることでパターン寸法が0.49 $\mu$ mと所望の値に対して約10%寸法が細るという結果となっていた。しかしながら上記構成によればパターン領域外のうち少なくとも転写によりウェハ上に光が到達する領域で露光光を遮光することができる。なお、この遮光のための半透明膜はパターン領域外を遮光する他に、パターン領域内に用いることも可能である。すなわち、複数回の露光により半透明マスクパターンにより形成されたウェハ上のレジストパターンパターンが膜厚の現象を著しく生じた場合、半透明パターンのエッジ部分を除く領域に半透明膜を積層させることが可能で、これによりレジストパターンの膜減の低減をはかることも可能である。

【0035】本発明の第4によれば、位相シフト層を構成する第1の半透明膜と、第2の半透明膜との間に酸化膜または導電性膜を介在させるようにしているため、この酸化膜または導電性膜がエッチングストッパーとして働くため、位相シフト層を良好に維持したまま選択的に除去することができるため、容易にパターンの細りや焦点深度不足のない良好な露光マスクを形成することが可能となる。

【0036】また酸化膜を用いる場合は同一チャンバー内で表面酸化を行うのみでよく、形成が極めて容易である。

【0037】さらに導電性膜を用いる場合は、チャージアップを防ぐことが可能となる。

【0038】本発明の第6によれば、水酸化膜、窒化膜、炭化膜、ハロゲン化膜、酸化膜、導電性膜等の第3の膜がエッチングストッパーとしてとして働くため、位相シフト層を良好に維持したまま選択的に除去することができるため、容易にパターンの細りや焦点深度不足のない良好な露光マスクを形成することが可能となる。

【0039】

【実施例】まず、実施例を説明する前に、本発明の基本原理について説明する。

【0040】半透明膜を単層で用いようとした場合、半透明膜を透過する光の位相を透明な部分を透過する光の位相に対し180度 $\pm$ 10%で制御することが必要で、かつ半透明膜の透過率を所望の値にすることが必要である。この $\pm$ 10%という値はシミュレーションにより位相差を180度からずらしていき、その場合の焦点深度の劣化が10%以内に収まる範囲は、180度 $\pm$ 10%程度であることから定めたものである。

【0041】半透明膜の位相シフトマスクで最大の解像度を得るためには、半透明膜の光学定数は次の条件を満たす必要がある。入射光の複素電界ベクトルをE0、透明領域を透過した光の複素電界ベクトルをE1とし、半透明膜領域を透過した光の複素電界ベクトルをE2とすると、それらの関係は、

$$E1 = t1 \cdot E0 \cdots (1)$$

$$E2 = t2 \cdot E0 \cdots (2)$$

となる。但し、t1、t2は振幅透過率とする。

【0042】また、位相シフトマスクで最大の効果を得るためには、透過光の振幅透過率比及び位相差の間の関係は、下記の(3)式及び(4)式で表され、

$$0.1 \leq |E1| / |E2| \leq 0.4 \cdots (3)$$

$$170^\circ \leq |\delta1 - \delta2| \leq 190^\circ \cdots (4)$$

となる。但し、

$$E1 = |E1| \exp(\delta1)$$

$$E2 = |E2| \exp(\delta2)$$

である。(1)、(2)式における半透明膜領域及び透過領域の光の振幅透過率t1、t2は、これらの領域を構成する物質と他の媒体との界面における反射率、透過率及び膜の吸光度を考慮した該物質の膜厚Tにおける多重反射を考えることで容易に求めることができる。物質の反射率、透過率は、屈折率n及び消衰係数kより求められる。また、膜の吸光度は消衰係数kより求めることができる。

【0043】ところで、今問題とする半透明膜は位相シフト層であるので開孔部に対し位相差180度を考慮すると、膜厚Tは物質の屈折率nより

$$T = \lambda / 2(n - 1) \cdots (5)$$

となる。以上の変数から実測値として得られる透過率tは、

$$t = F(n1, k1, n0, k0, T) \cdots (6)$$

により得られる。ここでn0、k0は媒体の屈折率、消衰係数を示しており特定の値であるから、(6)式をn1、k1の関係として振幅透過率tを一意的に求めることができる。

【0044】前述の考え方にに基づき、例えば波長436nmのg線露光を想定して、位相を180 $\pm$ 10 $^\circ$ 、振幅透過率を15 $\pm$ 5%とし、屈折率nを変化させて、対応するkを求めると図12中に実線及び破線で示すカーブが描ける。図5において、縦軸は消衰係数k、横軸は屈折率nを示し、破線(a)は振幅透過率10%、位相

170度の時の $k$ と $n$ の関係を示す曲線、破線(b)は振幅透過率20%、位相190度の時の $k$ と $n$ の関係を示す曲線、破線(c)は振幅透過率15%、位相180度の時の $k$ と $n$ の関係を示す曲線である。破線(a)及び(b)の間の領域がこの時の許容範囲となり、ある物質の屈折率 $n$ 及び消衰係数 $k$ で定まる点が破線に挟まれた範囲内であれば、その物質は単層膜でハーフトーン型位相シフト膜の機能を持つことになる。

【0045】 $g$ 線の場合この条件を満たす膜として図12中にポイントで示したアモルファスSiがある。しかし、波長365nmの*i*線露光を考えた場合、図13に示すように、アモルファスSi( $N_2$ ガス0%のポイント)は許容範囲外の値を取る。従って、*i*線露光ではアモルファスSiを用いた単層ハーフトーン型位相シフト膜の形成が不可能であることが分かる。

【0046】ところで、Siを $N_2$ 化した $Si_3N_4$ ( $N_2$ ガス80%のポイント)について同様の検討を行うとやはり許容範囲外となる。しかし、アモルファスSiと $Si_3N_4$ の2点を任意の曲線で結んだ場合、必ず破線間に挟まれた領域を得ることが分かる。即ち、アモルファスSiと $Si_3N_4$ の中間的な物性を持つ物質が在れば許容範囲内に入ることになる。この膜の作成については、Siと $N_2$ による反応性スパッタが有効である。このとき、 $N_2$ の反応比を変えることで任意の物性の膜を得ることができる。このときの物性値を黒丸で示す。また、黒丸を通る曲線を描くと破線間の領域を通り、ここで得られた最適条件は、スパッタリング時の窒素ガスの流量が15%の時の $n=3.30$ 、 $k=1.19$ であり、膜厚を53.5nmにすることにより振幅透

過率比が0.142、位相差が180度となる。このように反応比を変えた $Si_3N_4$ 膜を形成することで、所望の単層ハーフトーン型位相シフト膜を形成することができる。

【0047】また、波長248nmのKrFエキシマレーザによる露光を考えた場合、*i*線露光の場合と同様に、図14に示すように、アモルファスSi及び $Si_3N_4$ の物性値は、許容範囲外となるが、これらの中間的な物性をもつ物質は許容範囲内に入ることが分かった。

【0048】なお、境界条件の設定は位相を180度に固定し、振幅透過率に余裕を持たせて設定したり、振幅透過率を固定し位相に余裕を持たせて設定することも可能である。また、許容とされる数値もレジストプロセス等への影響及び効果を考え、本説明で述べた値を変更しても構わない。

【0049】上記の条件を満たす材料として我々が鋭意研究を行った結果、シリコン、シリコンを含む混合物、シリコンを含む混合物、ゲルマニウム、ゲルマニウムを含む化合物、ゲルマニウムを含む混合物のいずれか1種或いは2種以上の混合物で形成される物質、又はCr、Al、Ti、Sn、In、Co或いは他の金属元素、金属化合物及びこれらの酸化物、窒化物、水素化物、炭化物、ハロゲン化物のうちいずれか1種或いは2種以上の混合物で形成される物質について上述の2条件を満たすことが分かった。とりわけシリコンについては*g*線領域、SiNは*i*線、KrF領域で非常に有効な半透明膜であるといえる。これらの物質の特性について表1に示す。

【0050】

位相差  $180^\circ$  を想定して形成した膜の振幅透過率

材料名 (組成)	露光波長 ( $\mu\text{m}$ )	屈折率	位相差 $180^\circ$ の厚膜 (nm)	SiO <sub>2</sub> に対する 振幅透過率(%)	適 性
Si	436	4.93	59	17.4	◎
Ge	↑	4.10	70	10.8	◎
GaAs	↑	4.96	55	14.5	◎
CrO <sub>2</sub> ( $0 < \epsilon \leq 2$ )	↑	2.70	128	33.0	△
SiN <sub>β</sub> ( $0 < \beta < 1.33$ )	365	3.40	80	15.1	◎
GaAsO <sub>δ</sub> ( $0 < \delta < 2$ )	↑	2.60	114	14.5	◎
TiO <sub>δ</sub> ( $0 < \delta < 2$ )	↑	2.70	107	15.2	◎
CrO <sub>ε</sub> ( $0 < \epsilon' \leq 2$ )	↑	2.40	130	26.1	○
SiN <sub>β'</sub> ( $0 < \beta' < 1.33$ )	248	2.68	76	15.0	◎
GaAsO <sub>δ'</sub> ( $0 < \delta' < 2$ )	↑	2.20	103	7.1	△
CrO <sub>ε''</sub> ( $0 < \epsilon'' \leq 2$ )	↑	2.09	113	5.5	△

(i、β、δ、ε：組成比)

なお、半透明膜に対し、As、P、Bなどのイオンを注入することにより、形成された膜質の若干の調整、例えば光学定数の調整をはかることができる。

【0051】また、シリコンに対しては500℃以上に加熱することにより、アモルファス状態を多結晶へ、また多結晶から単結晶へと連続的或いは断続的に変化させることができ、所望の物性状態が得られる。

【0052】さて、今までは単一の半透明膜作成のための基本概念について述べたが、単一の半透明膜を作成しようとした場合、膜によっては化合物の組成比が難しい場合もある。例えば、i線単層半透明膜をシリコンと窒素の組成比を調整して作成する場合、位相差と透過率が最適とされる屈折率nと消衰係数kを満たすときのシリコンと窒素の組成比は、シリコン：窒素=1：0.60程度でなくてはならない。これは、通常シリコンを窒素化して得られるSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜の組成比(シリコン：窒素=1：1.33)と比べ窒素の割合が小さく窒素流量の微調整が必要となってくる。

【0053】このように微調整が必要な場合、単層の半透明膜を作成するよりも2つの組成比を変化させた2種以上の半透明膜、例えばSi(シリコン：窒素=1：0)とSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(シリコン：窒素=1：1.33)を用いた多層膜で形成した方が望ましい。このとき、Si分子のスパッタ量1に対するSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>分子のスパッタ量を求めると0.042が得られ、この条件下でスパッタを2回に別けて行えば多層の場合と同等の所望の半透明位相シフト膜が得られる。また、KrF用半透明膜を

i線と同様にSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜に別けて行くと、シリコン：窒素=1：0.9とすることが必要で、そのためにはSi分子のスパッタ量1に対してSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>分子のスパッタ量0.74とすることで、SiとSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜からなる2種の半透明膜により所望の半透明膜位相シフトを得ることができる。

30 【0054】なお、これらの膜ではSiを共通元素と考えて成膜しており、ターゲットにシリコンを用い、これをスパッタした後、窒素を流しながらシリコンをスパッタすることでSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜を堆積している。このスパッタの工程ではターゲットを1種類に固定しているため、同一の装置を使用でき、また加工の際も共通元素Siに対する加工のみで済むため、弗素系のガスを用いた反応エッチングにより一度に加工することが可能である。CrとSiO<sub>2</sub>という異なった元素からなる2層半透明位相シフト膜と比べ、成膜、加工のそれぞれにおいて工程の省略化ができる。

40 【0055】また、半透明膜を形成する材料としてはSiとSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>に限るものではなく、種々の材料を選択して使用することができる。図15～図18に、各種材料における屈折率と消衰係数との関係を示す。図15はCr-CrO<sub>2</sub>、図16はAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、図17はTi-TiO<sub>2</sub>、図18はGaAs-GaAsOである。また、これらの図において、上図はi線(波長365nm)、下図はKrF線(波長248nm)の場合を示している。これらの図において、上側の破線と下側の破線との間の領域(許容範囲)に入るように各材料組成を決



定すればよい。ここで得られる組成は、本発明の場合だけでなく組成比を反応条件によりコントロールして単層の半透明膜形成する場合に適用できる。

【0056】ここで、例えばKrF露光条件のTi-TiO遷移に見られるように、許容範囲と交わらない場合には、本発明によるハーフトーン位相シフト膜を形成できないことも考えられる。また、i線露光条件のCr-CrO遷移に見られるように許容範囲内境界に終点物質が存在する場合、露光時に振幅透過率20%、位相差190度を許容範囲と見なすことが可能であれば、終点物質をそのまま使用することができる。

#### 【0057】実施例1

図1は、本発明の第1の実施例に係わる露光用マスクの製造工程を示す断面図である。この露光用マスクは、半透明膜パターンとしてスパッタリング法で形成したSi、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の2層の半透明膜からなるパターンを用いたことを特徴とし、i線投影露光用マスクとして用いられるものである。

【0058】まず、図1(a)に示すように、酸化シリコン基板10上にスパッタリング法により膜厚71nmのシリコン膜11を作成する。引き続き窒素ガスを導入しながらSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜12を19nm作成した。このとき、2層からなる半透明位相シフト膜は、酸化シリコン基板10に対する位相差180度、振幅透過率22.4%であった。

【0059】次いで、図1(b)に示すように、電子線用レジスト13を膜厚0.5μmで堆積した後、さらに導電性膜14を0.2μm程度に形成する。

【0060】次いで、図1(c)に示すように、導電性膜14上から電子線により3μC/cm<sup>2</sup>で描画し、さらに現像を行ってレジスト13のパターンを形成する。ここで、導電性膜14を形成するのはレジスト13が絶縁性であるとき電子線のチャージアップを防ぐためである。

【0061】次いで、図1(d)に示すように、レジストパターンをマスクとしてCF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>との混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出するSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜12及びシリコン膜11を順次除去する。そして、最後にレジストパターンを除去することにより、図1(e)に示すように、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜12とシリコン膜11からなる位相シフトを得ることができる。

【0062】なお、この例ではシリコン膜及びSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜の形成をスパッタリングにより行ったが、CVD法によりそれぞれの膜を作成してもよい。さらに、シリコン膜及びSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜の加工をCDE(ケミカルドライエッチング)、ウェットエッチングにより行っても構わない。

【0063】このようにして形成された露光用マスクを介して、PFR7750(日本合成ゴム製)と称されて

いるレジストを1.54μm塗布した基板に、g線で1/5縮小露光(NA=0.54, σ=0.5)を行ってパターンを形成した。このときの露光量は300mJ/cm<sup>2</sup>であった。従来0.45μmパターンでフォーカスマージン0μmで解像していたものを、本実施例のマスクを用いることにより0.7μmで解像することができた。

【0064】コンタクトホールパターン関しても従来の露光で解像されなかった0.50μmパターンがフォーカスマージン1.5μmで解像することが確認された。また、このマスクを用いて転写し形成されたレジストパターンをマスクとして基板の加工を行うことにより、より良好な加工形状を得ることが可能となる。

#### 【0065】実施例2

次に、第2の実施例について説明する。

【0066】この露光用マスクは、半透明膜パターンとしてスパッタリング法により形成したシリコンとSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜からなるパターンを用いたことを特徴とし、KrF用のマスクとして用いられるものである。ここでは、酸化シリコン基板上10に膜厚74nmのシリコン膜11を作成する。引き続き窒素ガスを導入しながらSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜12を70nm作成した。このときの2層からなる半透明位相シフト膜は、酸化シリコン基板10に対する位相差180度、振幅透過率21.5%であった。

【0067】そして、第1の実施例と同様にして電子線用レジスト13を膜厚1.5μmで堆積した後、さらに導電性膜14を0.2μm程度に形成する。この導電性膜上から電子線により6μC/cm<sup>2</sup>で描画し、さらに現像を行ってレジストパターンとする。

【0068】このレジストパターンをマスクとしてCF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>との混合ガスによる反応性イオンエッチングによりレジストパターンから露出するSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜12及びシリコン膜11を順次除去する。そして、最後にレジストパターンを除去しSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜12とシリコン膜11からなる位相シフトを得ることができる。

【0069】このようにして形成された露光用マスクを介して、XP8843(シプレー社製)と称されているKrF用レジストを1.0μm塗布した基板に、KrFエキシマレーザで1/5縮小露光(NA=0.4, σ=0.5)を行ってパターンを形成した。このときの露光量は40mJ/cm<sup>2</sup>であった。従来0.30μmパターンでフォーカスマージン=0μmで解像していたものを、本実施例のマスクを用いることにより0.7μmで解像することができた。コンタクトホールパターンに関しても従来の露光で解像されなかった0.30μmパターンがフォーカスマージン-1.2μmで解像することが確認された。

【0070】なお、この例では位相シフトとしての窒化シリコン膜の形成をターゲットとして、シリコンを用い窒素ガス量を制御しながらスパッタリングにより行った

が、シリコンと窒化シリコンのモザイクターゲットを用いたスパッタリング或いはガス比を制御したCVD法等を用いてもよい。また、膜厚を本発明の趣旨を逸脱しない範囲において適当な厚さにしてもよい。さらに、屈折率と振幅透過率との微調整を行うためにイオン注入や熱処理を行い、表面の改質を行うようにしてもよい。

#### 【0071】実施例3

次に、第3の実施例について説明する。

【0072】この実施例は、CrとCrO<sub>2</sub>を用いて作成したi線露光用マスクに関する。Crを反応性スパッタにより単層の半透明膜で作成する場合、Cr元素に対し酸素元素の組成比を約1.8とする環境となるように酸素ガスの流量を調整すれば所望の半透明位相シフト膜が得られることを確認した。

【0073】次いで、この条件をCrとCrO<sub>2</sub>の2層膜で作成することを考えると、それぞれの分子組成比をCr:CrO<sub>2</sub>=1:0.567とすることで酸化シリコン基板に対し位相差180度、振幅透過率18%を得ることができる。

【0074】まず、図2(a)に示すように、酸化シリコン基板10上にスパッタリング法により膜厚70nmのCr膜21を作成する。引き続き酸素ガスを導入しながらCrO<sub>2</sub>膜22を42nm作成した。

【0075】次いで、第1の実施例と同様に、電子線レジストを膜厚1.0μmで形成し、電子線により6μC/cm<sup>2</sup>で描画し、さらに現像を行いレジストパターンとする。

【0076】このレジストパターンをマスクとしてCl<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>との混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出するCr膜21及びCrO<sub>2</sub>膜22を順次除去する。そして、最後にレジストパターンを除去することにより、図2(b)に示すようなCr膜21とCrO<sub>2</sub>膜22からなる位相シフトを得ることができる。

【0077】なお、本実施例において所望の振幅透過率が26%程度である場合にはCrO<sub>2</sub>膜を単層膜で使い、膜厚130nmに制御すればCrO<sub>2</sub>膜のみからなる位相シフトを得ることもできる。

【0078】i線用レジスト(PFRIX500(日本合成ゴム社製))を1.3μmの厚さに塗布した基板に、本実施例により作成した投影露光用マスクを介して水銀ランプのi線で1/5縮小露光(NA=0.5, σ=0.6)を行ってパターンを形成した。このときに要した露光量は300mJ/cm<sup>2</sup>であった。ライン&スペースパターンに関しては、従来の露光において0.35μmパターンでフォーカスマージン=0μmで解像していたものが、本実施例のマスクによりフォーカスマージン=0.9μmで解像することが可能になった。

【0079】コンタクトホールパターンに関しても、従来の露光で解像されなかった0.40μmパターンがフォ

ーカスマージン1.5μmで解像することが確認された。また、このマスクを用いて転写し、形成されたレジストパターンをマスクとし基板の加工を行うことで、より良好な加工形状を得ることが可能である。

【0080】本実施例において、CrO<sub>x</sub>からなるシフト膜の形成を雰囲気ガスの組成比を制御したCVD等により成膜してもよい。また、本実施例でCr及びCrO<sub>2</sub>のエッチングをケミカルエッチング(CDE)又はウェットエッチング(硝酸第2セリウムアンモニウム溶液を使用)を用いても構わない。

#### 【0081】実施例4

次に、第4の実施例について説明する。

【0082】本実施例は、AlとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いて作成したi線露光用マスクに関する。Alを反応性スパッタにより単層の半透明膜で作成する場合、Al元素に対し酸素元素の組成比を約1.40とする環境となるように酸素ガスの流量を調整すれば所望の半透明位相シフト膜が得られることを確認した。

【0083】次いで、この条件をAlとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の2層膜で形成することを考えると、それぞれの分子組成比をAl:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=1:18.3とすることで酸化シリコン基板に対し位相差180度、振幅透過率15%を得ることができる。

【0084】まず、図3(a)に示すように、酸化シリコン基板10上にスパッタリング法により膜厚23nmのAl膜31を作成する。引き続き酸素ガスを導入しながらAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜32を248nm作成した。

【0085】次いで、第1の実施例と同様に電子線レジストを膜厚1.0μmで形成し、電子線により6μC/cm<sup>2</sup>で描画し、さらに現像を行ってレジストパターンとする。

【0086】このレジストパターンをマスクとしてCl<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>との混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出するAl及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜を順次除去する。そして、最後にレジストパターンを除去することにより、図3(b)に示すようなAl膜31とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜32からなる位相シフトを得ることができる。

【0087】i線用レジスト(PERIX500(日本合成ゴム社製))を1.3μmの厚さに塗布した基板に、本実施例により作成した投影露光用マスクを介して水銀ランプのi線で1/5縮小露光(NA=0.5, σ=0.6)を行ってパターンを形成した。このときに要した露光量は300mJ/cm<sup>2</sup>であった。

【0088】ライン&スペースパターンに関しては、従来の露光において0.35μmパターンでフォーカスマージン0μmで解像していたものが、本実施例のマスクによりフォーカスマージン0.9μmで解像することが可能になった。コンタクトホールパターンに関しても、従来の露光で解像されなかった0.40μmパターンが

フォーカスマージン $1.5\mu\text{m}$ で解像することが確認された。また、このマスクを用いて転写し、形成されたレジストパターンをマスクとし基板の加工を行うことで、より良好な加工形状を得ることが可能である。

#### 【0089】実施例5

次に、第5の実施例について説明する。

【0090】本実施例は、 $\text{Al}$ と $\text{Al}_2\text{O}_3$ を用いて作成した $\text{KrF}$ 線露光用マスクに関する。 $\text{Al}$ を反応性スパッタにより単層の半透明で形成する場合、 $\text{Al}$ 元素に対し酸素元素の組成比を約 $1.43$ とする環境となるよう

10

に酸素ガスの流量を調整すれば所望の半透明位相シフト膜が得られることを確認した。

【0091】この条件を $\text{Al}$ と $\text{Al}_2\text{O}_3$ の2層膜で作成することを考えると、それぞれの分子組成比を $\text{Al}:\text{Al}_2\text{O}_3=1:10$ とすることで酸化シリコン基板に対し位相差 $180^\circ$ 度、振幅透過率 $15\%$ を得ることができる。

【0092】まず、酸化シリコン基板上 $10$ にスパッタリング法により膜厚 $14\text{nm}$ の $\text{Al}$ 膜 $31$ を作成する。引き続き酸素ガスを導入しながら $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜 $32$ を $161\text{nm}$ 作成した。次いで、電子線レジストを膜厚 $1.0\mu\text{m}$ 形成し、電子線により $6\mu\text{C}/\text{cm}^2$ で描画し、さらに現像を行いレジストパターンとする。

20

【0093】このレジストパターンをマスクとして $\text{Cl}_2$ と $\text{O}_2$ との混合ガスによる反応性イオンエッチングによりレジストパターンから露出する $\text{Al}$ 膜 $31$ 及び $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜 $32$ を順次除去する。そして、最後にレジストパターンを除去し $\text{Al}$ 膜 $31$ と $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜 $32$ からなる位相シフトを得ることができる。

【0094】このようにして形成された露光用マスクを介して、 $\text{XP8843}$ （シプレー社製）と称されている $\text{KrF}$ 用レジストを $1.0\mu\text{m}$ 塗布した基板に、 $\text{KrF}$ エキシマレーザ $1/5$ 縮小露光（ $\text{NA}=0.4$ ， $\sigma=0.5$ ）を行ってパターンを形成した。このときの露光量は $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ であった。そして、従来 $0.30\mu\text{m}$ パターンでフォーカスマージン $=0\mu\text{m}$ で解像していたものを、本実施例のマスクを用いることにより、フォーカスマージン $=0.7\mu\text{m}$ で解像することができた。

30

【0095】また、コンタクトホールパターンに関して、従来の露光で解像されなかった $0.30\mu\text{m}$ パターンが、フォーカスマージン $=1.2\mu\text{m}$ で解像することが確認された。

#### 【0096】実施例6

次に、第6の実施例について説明する。

【0097】本実施例は、 $\text{Ti}$ と $\text{TiO}_2$ を用いて作成した $i$ 線露光用マスクに関する。 $\text{Ti}$ を反応性スパッタにより単層の半透明膜で作成する場合、 $\text{Ti}$ 元素に対し酸素元素の組成比を約 $0.61$ とする環境となるように酸素ガスの流量を調整すれば所望の半透明位相シフト膜

50

が得られることを確認した。

【0098】この条件を $\text{Ti}$ と $\text{TiO}_2$ の2層膜で作成することを考えると、それぞれの分子組成比を $\text{Ti}:\text{TiO}_2=1:0.43$ とすることで酸化シリコン基板に対し位相差 $180^\circ$ 度、振幅透過率 $15.4\%$ を得ることができる。

【0099】まず、図4(a)に示すように、酸化シリコン基板 $10$ 上にスパッタリング法により膜厚 $196\text{nm}$ の $\text{Ti}$ 膜 $41$ を作成する。引き続き酸素ガスを導入しながら $\text{TiO}_2$ 膜 $42$ を $84\text{nm}$ 作成した。

【0100】次いで、電子線レジストを膜厚 $1.0\mu\text{m}$ で形成し、電子線により $6\mu\text{C}/\text{cm}^2$ で描画し、さらに現像を行いレジストパターンとする。このレジストパターンをマスクとして弗素系のガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出する $\text{Ti}$ 膜 $41$ 及び $\text{TiO}_2$ 膜 $42$ を順次除去する。

【0101】そして、最後にレジストパターンを除去することにより、図4(b)に示すような $\text{Ti}$ 膜 $41$ と $\text{TiO}_2$ 膜 $42$ からなる位相シフトを得ることができる。

【0102】 $i$ 線用レジスト（ $\text{PFRIX500}$ （日本合成ゴム社製））を $1.3\mu\text{m}$ の厚さに塗布した基板に、本実施例により作成した投影露光用マスクを介して水銀ランプの $i$ 線で $1/5$ 縮小露光（ $\text{NA}=0.5$ ， $\sigma=0.6$ ）を行ってパターンを形成した。このときに要した露光量は $300\text{mJ}/\text{cm}^2$ であった。

【0103】ライン&スペースパターンに関しては、従来の露光において $0.35\mu\text{m}$ パターンでフォーカスマージン $=0\mu\text{m}$ で解像していたものが、本実施例のマスクによりフォーカスマージン $=0.9\mu\text{m}$ で解像することが可能になった。コンタクトホールパターンに関しても、従来の露光で解像されなかった $0.40\mu\text{m}$ パターンがフォーカスマージン $1.5\mu\text{m}$ で解像することが確認された。また、このマスクを用いて転写し、形成されたレジストパターンをマスクとし基板の加工を行うことで、より良好な加工形状を得ることが可能である。

【0104】なお、本発明は上述した各実施例に限定されるものではない。例えば、各実施例において、第1の半透明膜と第2の半透明膜の材料を入れ替えても構わない。また、実施例では2種類の半透明膜を用いているが、3種類以上の半透明膜を用いてもよい。さらに、同一の半透明膜（2種類以上）を複数回積層するようにしてもよい。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

#### 【0105】実施例7

図5は、本発明の第7の実施例の露光マスク用基板の製造工程を示す断面図である。この露光マスク用基板は、 $g$ 線用位相シフトマスクを作成するための基板であり、透明基板 $60$ 上に、半透明膜としてスパッタリング法でアモルファスシリコン膜 $61$ を形成し、表面酸化を行い酸化シリコン膜 $62$ を形成し、この上層にさらにシリコ

ンをターゲットとして第2のアモルファスシリコン膜63を形成したものである。

【0106】すなわちまず、図5(a)に示すように、厚さ2.5mmの石英基板60上にスパッタリング法により膜厚59nmのアモルファスシリコン膜61を作成する。このアモルファスシリコン膜61の屈折率 $n=4.93$ で石英基板に対する振幅透過率は17.4%であった。

【0107】引き続き図5(b)に示すようにこのアモルファスシリコン膜61の表面を酸素元素を含むプラズマ中で酸化して酸化シリコン膜62を形成する。

【0108】さらにこの上に図5(c)に示すように、シリコンをターゲットとしたスパッタリング法により第2のアモルファスシリコン膜63を59nm堆積した。この様にして得られた2層膜の振幅透過率は酸化シリコン膜も含めて3.0%であった。このようにして露光マスク用基板が得られるが、第2の半透明膜としてのアモルファスシリコン膜の膜厚は振幅透過率が第1のアモルファスシリコン膜および酸化シリコン膜も含めて5.0%以下になるような値であれば良い。

【0109】次に、この露光マスク用基板を用い露光用マスクを形成する方法について説明する。

【0110】まず、図6(a)に示すように前記図5(a)乃至図5(c)に示す工程で得られた露光マスク用基板表面に電子線レジスト64を膜厚500nmで形成し、さらに塗布性導電膜65を膜厚200nmとなるように形成する。

【0111】次いで、図6(b)に示すように電子線によりデバイスパターンとデバイスパターン外領域を含むデータにより描画を行い、現像しレジストパターン64aを形成する。ここでも、塗布性導電膜65上から電子線により描画し、さらに現像を行ってレジストパターン64aを形成する。ここで、塗布性導電膜65を形成するのはレジスト64が絶縁性であるとき電子線のチャージアップを防ぐためである。また図中Bはパターン領域とパターン外領域の境界を示す。

【0112】次いで、図6(c)に示すように、レジストパターンをマスクとして $CF_4$ ガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出する第2のアモルファスシリコン膜63をエッチング除去したのち、ガスを切り換え $CF_4$ と $O_2$ との混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、酸化シリコン膜62のエッチングを行いさらにガスを切り換え $CF_4$ にして第1のアモルファスシリコン膜61をエッチング除去した。

【0113】この後、図6(d)に示すように、レジストパターンを除去する。

【0114】このようにして図6(e)に示すように第1のアモルファスシリコンおよび第2のアモルファスシリコンからなる2層構造の位相シフトパターンを形成した後、電子線レジスト66を膜厚500nmで形成し、さら

に塗布性導電膜67を膜厚200nmとなるように形成する。

【0115】次いで、図6(f)に示すように電子線によりデバイスパターン外領域にレジスト膜が残るように作成されたデータにより描画を行い、現像しレジストパターン66aを形成する。ここでも、塗布性導電膜67上から電子線により描画し、さらに現像を行ってレジストパターン66aを形成する。

【0116】次いで、図6(g)に示すように、このレジストパターンをマスクとして $CF_4$ ガスによる反応性イオンエッチングにより、酸化シリコン膜62をエッチングストッパーとしてパターン領域内の第2のアモルファスシリコン膜63をエッチング除去し、さらにこの酸化シリコン膜62をエッチング除去する。

【0117】最後に、図6(h)に示すように、このレジストパターンを除去した。

【0118】このようにして形成された露光用マスクは、デバイスパターン領域では第1のアモルファスシリコン膜のみよりなる振幅透過率17.4%の半透明膜、デバイスパターン領域外では振幅透過率3%の遮光膜となっている。

【0119】従ってパターン領域外の内少なくとも転写によるウェハ上に光が到達する領域で、露光光を遮光するようにしているため、複数回の露光を行う場合にもパターンの細りや焦点深度不足を防ぐことができる。

#### 【0120】実施例8

なお、前記実施例ではg線用の露光マスクについて説明したが、ここではi線用の露光マスクについて説明する。

【0121】図5(a)乃至(c)に示した実施例6と同様に、厚さ2.5mmの石英基板上にシリコンをターゲットとし、窒素雰囲気中でスパッタリング法により膜厚80nmの第1の窒化シリコン膜 $SiN_\beta$  ( $0.6 \leq \beta \leq 0.8$ )を作成する。この窒化シリコン膜の屈折率は $n=3.40$ で石英基板に対する振幅透過率は15.1%であった。

【0122】引き続きこの窒化シリコン膜の表面を酸素元素を含むプラズマ中で酸化して酸化シリコン膜を形成する。

【0123】さらにこの上に、シリコンをターゲットとしたスパッタリング法により膜厚80nmの第2の窒化シリコン膜 $SiN_\beta$  ( $0.6 \leq \beta \leq 0.8$ )を作成する。この様にして得られた2層膜の振幅透過率は酸化シリコン膜も含めて2.2%であった。なお、第2の窒化シリコン膜にかえてシリコン膜を用いるようにしてもよい。また第2の窒化シリコン膜あるいはシリコン膜の膜厚は2層膜の振幅透過率として5%以下となるような値であればどのような値でもよい。

【0124】次に、この露光マスク用基板を用い露光用マスクを形成する方法について説明する。

【0125】まず、図6(a)乃至図6(h)に示したのと同様に、前記工程で得られた露光マスク用基板に電子線レジストを膜厚500nmで形成し、さらに塗布性導電膜65を膜厚200nmとなるように形成する。

【0126】次いで、電子線によりデバイスパターンとデバイスパターン外領域を含むデータにより描画を行い、現像しレジストパターンを形成する。ここでも、塗布性導電膜上から電子線により描画し、さらに現像を行ってレジストパターンを形成する。

【0127】次いで、レジストパターンをマスクとしてCF<sub>4</sub> + O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>の混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出する第2の窒化シリコン膜をエッチング除去したのち、ガスを切り換えCF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>との混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、酸化シリコン膜のエッチングを行いさらにガスを切り換えCF<sub>4</sub> + O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>の混合ガスにして第1の窒化シリコン膜をエッチング除去し、レジストパターンを除去する。

【0128】このようにして第1および第2の窒化シリコンからなる2層構造の位相シフトパターンを形成した後、電子線レジストを膜厚500nmで形成し、さらに塗布性導電膜を膜厚200nmとなるように形成する。

【0129】次いで、電子線によりデバイスパターン外領域にレジスト膜が残るように作成されたデータにより描画を行い、現像しレジストパターンを形成する。

【0130】さらに、このレジストパターンをマスクとしてCF<sub>4</sub> + O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>の混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、酸化シリコン膜をエッチングストッパーとしてパターン領域内の第2の窒化シリコン膜をエッチング除去し、さらにこの酸化シリコン膜をエッチング除去する。

【0131】最後に、このレジストパターンを除去した。

【0132】このようにして形成された露光用マスクは、デバイスパターン領域では第1の窒化シリコン膜のみよりなる振幅透過率15.1%の半透明膜、デバイスパターン領域外では振幅透過率2.2%の遮光膜となっている。

【0133】この場合も実施例7の場合と同様、パターン領域外の内少なくとも転写によるウェハ上に光が到達する領域で、露光光を遮光するようにしているため、複数回の露光を行う場合にもパターンの細りや焦点深度不足を防ぐことができる。

#### 【0134】実施例9

図7は、本発明の第9の実施例の露光マスク用基板の製造工程を示す断面図である。この露光マスク用基板は、i線用位相シフトマスクを作成するための基板であり、透明基板70上に、半透明膜としてスパッタリング法でCr膜71を形成し、この上層に塗布硝子層72を形成し、この上層にさらにCrをターゲットとしてスパッタ

リング法でCr膜73を形成したものである。

【0135】すなわちまず、図7(a)に示すように、厚さ2.5mmの石英基板70上にスパッタリング法により膜厚35nmの第1のCr膜71を作成する。この第1のCr膜71の屈折率はn=1.98で石英基板に対する振幅透過率は20.2%であった。

【0136】引き続き図7(b)に示すようにこのCr膜71の上層に塗布硝子72を膜厚329nmで形成する。このとき位相差はCr膜と塗布硝子のそれぞれの位相差を考慮し180度とした。

【0137】さらにこの上に図7(c)に示すように、Crをターゲットとしたスパッタリング法により第2のCr膜73を35nm堆積した。この様にして得られた2層膜の振幅透過率は塗布硝子膜も含めて4.0%であった。

【0138】次に、この露光マスク用基板を用い露光用マスクを形成する方法について説明する。

【0139】まず、図8(a)に示すように前記図7(a)乃至図7(c)に示す工程で得られた露光マスク用基板表面に電子線レジスト74を膜厚500nmで形成する。

【0140】次いで、図8(b)に示すように電子線によりデバイスパターンとデバイスパターン外領域を含むデータにより描画を行い、現像しレジストパターン74aを形成する。ここで図中Bはパターン領域とパターン外領域の境界を示す。

【0141】次いで、図8(c)に示すように、レジストパターンをマスクとしてCCl<sub>4</sub>ガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出する第2のCr膜73をエッチング除去したのち、ガスを切り換えCF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>との混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、酸化シリコン膜72のエッチングを行いさらにガスを切り換えCCl<sub>4</sub>にして第1のCr膜71をエッチング除去した。この後、図8(d)に示すように、レジストパターンを除去する。

【0142】このようにして図8(e)に示すように第1のCrおよび第2のCrからなる2層構造の位相シフトパターン75を形成した後、電子線レジスト76、導電性膜77を膜厚500nmで形成する。

【0143】次いで、図8(f)に示すように電子線によりデバイスパターン外領域にレジスト膜が残るように作成されたデータにより描画を行い、現像しレジストパターン76aを形成する。

【0144】次いで、図8(g)に示すように、このレジストパターンをマスクとしてCCl<sub>4</sub>ガスによる反応性イオンエッチングにより、塗布硝子72をエッチングストッパーとしてパターン領域内の第2のCr膜73をエッチング除去し、さらにこの塗布硝子膜72をエッチング除去する。

【0145】最後に、図8(h)に示すように、このレジストパターンを除去した。

【0146】このようにして形成された露光用マスクは、デバイスパターン領域では第1のCr膜のみよりなる振幅透過率20.2%の半透明膜、デバイスパターン領域外では振幅透過率4%の遮光膜となっている。

【0147】従ってパターン領域外の内少なくとも転写によるウェハ上に光が到達する領域で、露光光を遮光するようにしているため、複数回の露光を行う場合にもパターンの細りや焦点深度不足を防ぐことができる。

#### 【0148】実施例10

次に、本発明の第10の実施例として他の露光マスク用基板について説明する。この例ではパターン領域外に遮光膜を形成することのできる露光マスク用基板である。図9は、本発明の第10の実施例の露光マスク用基板の製造工程を示す断面図である。この露光マスク用基板は、i線用位相シフトマスクを作成するための基板であり、透明基板80上に、位相シフトとなる半透明膜として窒化シリコン膜SiN<sub>0.6</sub>81を形成し、この上層に遮光膜としてCr膜82を形成しさらにこの上層を反射防止層としてのCrO膜83で被覆したことを特徴とするものである。

【0149】すなわちまず、図9(a)に示すように、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板80上に、シリコンをターゲットとした窒素雰囲気下で反応性スパッタリングを行い、Si1モルに対し窒素0.6モルの均一な窒化シリコン膜SiN<sub>0.6</sub>を膜厚75nmとなるように堆積する。ここで窒化シリコン膜SiN<sub>0.6</sub>は水銀ランプのi線に対しその膜内で光の位相が254度であり、75nmの空气中を進む光の位相74度に対し180度位相が遅れるように設計されている。このSiN<sub>0.6</sub>膜81のi線に対する振幅透過率は3%であった。

【0150】引き続き図9(b)に示すようにこの窒化シリコン膜SiN<sub>0.6</sub>81の上層に遮光膜として膜厚75nmのCr膜82をスパッタリング法により形成する。

【0151】そしてさらにこの上に図9(c)に示すように、酸素雰囲気中でCrをターゲットとしたスパッタリング法により反射防止層としてCrO膜83を30nm堆積した。

【0152】次に、この露光マスク用基板を用い前述した例と同様の方法で露光用マスクを形成する。

#### 【0153】実施例11

次に、本発明の第11の実施例として他の露光マスク用基板について説明する。この例でもパターン領域外に遮光膜を形成することのできる露光マスク用基板である。この露光マスク用基板は、KrFエキシマレーザ用位相シフトマスクを作成するための基板であり、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、位相シフトとなる半透明膜として窒化シリコン膜SiN<sub>0.9</sub>を形成し、この上層に遮光膜としてCr膜を形成しさらにこの上層を反射防止層としてのCrO膜で被覆したことを特徴とするものである。

【0154】すなわちまず、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、シリコンをターゲットとした窒素雰囲気下で反応性スパッタリングを行い、Si1モルに対し窒素0.9モルの均一な窒化シリコン膜SiN<sub>0.9</sub>を膜厚80nmとなるように堆積する。ここで窒化シリコン膜SiN<sub>0.9</sub>はKrFエキシマレーザの248nmの光に対しその膜内で光の位相が296度であり、80nmの空气中を進む光の位相116度に対し180度位相が遅れるように設計されている。このSiN<sub>0.9</sub>膜のKrFエキシマレーザの248nmの光に対する振幅透過率は4%であった。

【0155】引き続きこの窒化シリコン膜SiN<sub>0.9</sub>の上層に遮光膜として膜厚79nmのCr膜をスパッタリング法により形成する。

【0156】そしてさらにこの上に、酸素雰囲気中でCrをターゲットとしたスパッタリング法により反射防止層としてCrO膜を30nm堆積した。

【0157】なお、ここでSiNとCrとの間に導電性膜であるSnOを介在させて他は前記実施例12と同様の構成としても同様の結果となる。

#### 【0158】実施例12

次に、本発明の第12の実施例として他の露光マスク用基板について説明する。この例でもパターン領域外に遮光膜を形成することのできる露光マスク用基板である。この露光マスク用基板は、KrFエキシマレーザ用位相シフトマスクを作成するための基板であり、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、位相シフトとなる半透明膜として窒化シリコン膜SiN<sub>1.8</sub>を形成し、この上層に遮光膜としてCr膜を形成しさらにこの上層を反射防止層としてのCrO膜で被覆したことを特徴とするものである。

【0159】すなわちまず、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、シリコンをターゲットとした窒素雰囲気下で反応性スパッタリングを行い、Si1モルに対し酸素1.8モルの均一な窒化シリコン膜SiO<sub>1.8</sub>を膜厚94nmとなるように堆積する。ここで窒化シリコン膜SiO<sub>1.8</sub>はKrFエキシマレーザの248nmの光に対しその膜内で光の位相が355度であり、94nmの空气中を進む光の位相175度に対し180度位相が遅れるように設計されている。このSiO<sub>1.8</sub>膜のKrFエキシマレーザの248nmの光に対する振幅透過率は4%であった。

【0160】引き続きこの窒化シリコン膜SiO<sub>1.8</sub>の上層に遮光膜として膜厚70nmのCr膜をスパッタリング法により形成する。

【0161】そしてさらにこの上に、酸素雰囲気中でCrをターゲットとしたスパッタリング法により反射防止層としてCrO膜を30nm堆積した。

#### 【0162】実施例13

次に、本発明の第13の実施例として他の露光マスク用

基板について説明する。この例でもパターン領域外に遮光膜を形成することのできる露光マスク用基板である。この露光マスク用基板は、水銀ランプのi線用位相シフトマスクを作成するための基板であり、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、位相シフトとなる半透明膜として窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.6}$ を形成し、この上層に導電性膜として $\text{SnO}$ を10nm堆積した後遮光膜としてCr膜を形成しさらにこの上層を反射防止層としてのCrO膜で被覆したことを特徴とするものである。

【0163】すなわちまず、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、シリコンをターゲットとした窒素雰囲気下で反応性スパッタリングを行い、Si1モルに対し窒素1.8モルの均一な窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.6}$ を膜厚75nmとなるように堆積する。ここで窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.6}$ はi線に対しその膜内で光の位相が254度であり、75nmの空气中を進む光の位相74度に対し180度位相が遅れるように設計されている。この $\text{SiN}_{0.6}$ 膜のi線に対する振幅透過率は3%であった。引き続きこの窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.6}$ の上層に導電性膜としてスパッタリングにより $\text{SnO}$ を10nm堆積した後、遮光膜として膜厚70nmのCr膜をスパッタリング法により形成する。

【0164】そしてさらにこの上に、酸素雰囲気中でCrをターゲットとしたスパッタリング法により反射防止層としてCrO膜を30nm堆積した。

【0165】なお、この導電性膜 $\text{SnO}$ は透明基板上に直接形成し、この上層に窒化シリコン膜を形成し他は前記実施例13と同様の構成としても同様の結果となる。

#### 【0166】実施例14

次に、本発明の第14の実施例として他の露光マスク用基板について説明する。この例でもパターン領域外に遮光膜を形成することのできる露光マスク用基板である。この露光マスク用基板は、KrFエキシマレーザの248nmの光用位相シフトマスクを作成するための基板であり、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、位相シフトとなる半透明膜として窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.9}$ を膜厚80nmに形成し、この上層に導電性膜として $\text{SnO}$ を10nm堆積した後、この上層に遮光膜としてCr膜を形成しさらにこの上層を反射防止層としてのCrO膜で被覆したことを特徴とするものである。

【0167】すなわちまず、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、シリコンをターゲットとした窒素雰囲気下で反応性スパッタリングを行い、Si1モルに対し窒素0.9モルの均一な窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.9}$ を膜厚80nmとなるように堆積する。ここで窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.9}$ はKrFエキシマレーザの248nmの光に対しその膜内で光の位相が296度であり、80nmの空气中を進む光の位相116度に対し180度位相が遅れるように設計されている。この $\text{SiN}_{0.9}$ 膜のKrFエキシマレーザの248nmの光に対する振幅透過率は4%であ

った。

【0168】引き続きこの窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.9}$ の上層に導電性膜としてスパッタリングにより $\text{SnO}$ を8nm堆積した後、遮光膜として膜厚70nmのCr膜をスパッタリング法により形成する。

【0169】そしてさらにこの上に、酸素雰囲気中でCrをターゲットとしたスパッタリング法により反射防止層としてCrO膜を30nm堆積した。

#### 【0170】実施例15

次に、本発明の第15の実施例として他の露光マスク用基板について説明する。この例でもパターン領域外に遮光膜を形成することのできる露光マスク用基板である。この露光マスク用基板は、水銀ランプのi線用位相シフトマスクを作成するための基板であり、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、導電性膜として $\text{SnO}$ を10nm堆積したのち、位相シフトとなる半透明膜として酸化シリコン膜 $\text{SiO}_2$ とシリコン膜との2層膜を形成した後、この上層に遮光膜としてCr膜を形成しさらにこの上層を反射防止層としてのCrO膜で被覆したことを特徴とするものである。

【0171】すなわちまず、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板上に、スパッタリング法により $\text{SnO}$ を10nm堆積し、この上層にCVD法により膜厚150nmの酸化シリコン膜を形成した後膜厚37nmのシリコン膜をスパッタリング法で形成する。ここでこの2層膜を透過した光はi線に対しその膜内で光の位相が364度であり、187nmの空气中を進む光の位相184度に対し180度位相が遅れるように設計されている。この2層膜のi線に対する振幅透過率は2.5%であった。

【0172】引き続きこの2層膜の上層に、遮光膜として膜厚70nmのCr膜をスパッタリング法により形成する。

【0173】そしてさらにこの上に、酸素雰囲気中でCrをターゲットとしたスパッタリング法により反射防止層としてCrO膜を30nm堆積した。

【0174】なお、この導電性膜 $\text{SnO}$ は透明基板上に直接形成したが、2層膜の上層に形成してもよい。

#### 【0175】実施例16

次に、この露光マスク用基板を用い前述した例と同様の方法で露光用マスクを形成する。ここでは前記実施例11で作成した露光マスク用基板を用いる。この露光マスク用基板は、KrFエキシマレーザ用位相シフトマスクを作成するための基板であり、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板90上に、位相シフトとなる半透明膜として窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.9}$ 91を形成し、この上層に遮光膜としてCr膜92を形成しさらにこの上層を反射防止層としてのCrO膜93で被覆して構成されている。

【0176】まず、図10(a)に示すように露光マスク用基板表面に電子線レジスト94を膜厚500nmで形成し、さらに塗布性導電膜95を膜厚200nmとなるよう

に形成する。

【0177】次いで、図10(b)に示すように電子線により $4\mu\text{C}/\text{cm}^2$ でデバイスパターンとデバイスパターン外領域を含むデータにより描画を行い、現像しレジストパターン94aを形成する。ここでも、塗布性導電膜95上から電子線により描画し、さらに現像を行ってレジストパターン94aを形成する。また図中Bはパターン領域とパターン外領域の境界を示す。

【0178】次いで、図10(c)に示すように、レジストパターンをマスクとして $\text{Cl}_2$ ガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出するCr膜およびCrO膜をエッチング除去したのち、ガスを切り換え $\text{CF}_4$ と $\text{O}_2$ との混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、露出している窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.991}$ をエッチング除去する。

【0179】この後、図10(d)に示すように、硫酸と過酸化水素水の混合溶液によりレジストパターンを除去する。これにより遮光膜と半透明膜からなる位相シフトパターンが形成されるが、この際同時に不要な遮光膜を除去するための露光を行うためのアライメントマークMが形成される。

【0180】このようにして図10(e)に示すように遮光膜と半透明膜からなる位相シフトパターンを形成した後、電子線レジスト96を膜厚500nmで形成し、さらに塗布性導電膜97を膜厚200nmとなるように形成する。

【0181】次いで、図10(f)に示すように電子線により $4\mu\text{C}/\text{cm}^2$ でデバイスパターン外領域にレジスト膜が残るように作成されたデータにより描画を行い、現像しレジストパターン96aを形成する。ここでも、塗布性導電膜97上から電子線により描画し、さらに現像を行ってレジストパターン96aを形成する。

【0182】次いで、図10(g)に示すように、このレジストパターンをマスクとして $\text{Cl}_2$ ガスによる反応性イオンエッチングにより、CrO膜93/Cr膜92をエッチング除去する。

【0183】最後に、図10(h)に示すように、硫酸と過酸化水素水の混合溶液によりこのレジストパターンを除去した。

【0184】このようにして形成された露光用マスクは、デバイスパターン領域では窒化シリコンとシリコンとの2層膜よりなる半透明膜、デバイスパターン領域外ではCr膜を含む遮光膜となっている。

【0185】従ってパターン領域外の内少なくとも転写によるウェハ上に光が到達する領域で、露光光を遮光するようにしているため、複数回の露光を行う場合にもパターンの細りや焦点深度不足を防ぐことができる。

【0186】実施例17

なお、前記実施例では露光マスク用基板に位相シフト層としての半透明膜と遮光膜との両方の形成されたものを

用いた場合について説明したが、ここではCr膜92とCrO膜93の形成された露光マスク用基板を用いて、枠部すなわちパターン領域外の遮光膜パターンを形成した後、位相シフト層パターンを形成する方法について説明する。

【0187】まず、図11(a)に示すように、厚さ2.5mmの酸化シリコン基板90にCr膜92とCrO膜93の形成された露光マスク用基板に電子線レジスト94を膜厚500nmで形成し、さらに塗布性導電膜95を膜厚200nmとなるように形成する。

【0188】次いで、図11(b)に示すように、電子線によりアライメントマークMおよびデバイスパターン外領域の遮光膜形成を目的としたデータにより描画を行い、現像しレジストパターンを形成する。ここでも、塗布性導電膜95上から電子線により描画し、さらに現像を行ってレジストパターンを形成する。

【0189】次いで、図11(c)に示すように、レジストパターンをマスクとして $\text{Cl}_2$ ガスによる反応性イオンエッチングにより、レジストパターンから露出するCrO/Cr膜をエッチング除去し、レジストパターンを除去する。

【0190】このようにしてアライメントマークMおよびデバイスパターン外領域の遮光膜を形成した後、図11(d)に示すように、シリコンをターゲットとした窒素雰囲気下で反応性スパッタリングを行い、 $\text{Si}1$ モルに対し窒素0.6モルの均一な窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.6}$ を膜厚75nmとなるように堆積する。ここで窒化シリコン膜 $\text{SiN}_{0.6}$ は水銀ランプのi線に対しその膜内で光の位相が254度であり、75nmの空気中を進む光の位相74度に対し180度位相が遅れるように設計されている。この $\text{SiN}_{0.6}$ 膜91のi線に対する振幅透過率は3%であった。

【0191】そして、図11(e)に示すように、電子線レジスト96を膜厚500nmで形成し、さらに塗布性導電膜97を膜厚200nmとなるように形成する。

【0192】次いで、図11(f)に示すように、電子線によりデバイスパターンおよびデバイスパターン外領域が残るように作成されたデータにより描画を行い、現像しレジストパターンを形成する。

【0193】さらに、図11(g)に示すように、このレジストパターンをマスクとして $\text{CF}_4 + \text{O}_2$ の混合ガスによる反応性イオンエッチングにより、 $\text{SiN}_{0.6}$ 膜91をエッチングする。

【0194】最後に、図11(h)に示すように、このレジストパターンを除去した。

【0195】このようにして形成された露光用マスクは、前記実施例16と同様デバイスパターン領域では窒化シリコン膜のみよりなる半透明膜、デバイスパターン領域外では遮光膜となっている。

【0196】この場合も、パターン領域外の内少なくとも



も転写によるウェハ上に光が到達する領域で、露光光を遮光するようにしているため、複数回の露光を行う場合にもパターンの細りや焦点深度不足を防ぐことができる。

【0197】なお、本発明は上述した各実施例に限定されるものではない。また、実施例では2種類の半透明膜を用いているが、3種類以上の半透明膜を用いてもよい。さらに、同一の半透明膜（2種類以上）を複数回積層するようにしてもよい。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0198】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、露光用マスクに用いられる複数の半透明膜からなるパターンについて、少なくとも1種類の同一元素を各々の膜に含ませることで、工程の簡略化をはかり且つ位相シフト効果を最大限に発揮することのできる露光用マスクを実現することが可能となる。

【0199】また本発明によれば、半透明膜を透過した光によるパターン領域外への光照射を防ぐためにパターン領域外で透過率が5%以下となるようにしているため、2重露光を防ぎ、パターン細りもなく信頼性の高いパターン形成を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例の露光用マスクの製造工程を示す断面図、

【図2】第3の実施例の露光用マスクの製造工程を示す断面図、

【図3】第4の実施例の露光用マスクの製造工程を示す断面図、

【図4】第6の実施例の露光用マスクの製造工程を示す断面図、

【図5】第7の実施例の露光用マスク用基板の製造工程を示す断面図、

【図6】第7の実施例の露光用マスク用基板を用いた露光用マスクの製造工程を示す断面図、

【図7】第8の実施例の露光用マスク用基板の製造工程を示す断面図、

【図8】第8の実施例の露光用マスク用基板を用いた露光用マスクの製造工程を示す断面図、

【図9】第10の実施例の露光用マスク用基板の製造工程を示す断面図、

【図10】第16の実施例の露光用マスクの製造工程を示す断面図、

【図11】第17の実施例の露光用マスクの製造工程を示す断面図、

【図12】半透明膜パターン単層膜で形成する際に満足すべき光学定数の範囲及び光学定数の実測値を示す特性図、

【図13】半透明膜パターン単層膜で形成する際に満足すべき光学定数の範囲及び光学定数の実測値を示す特性図、

【図14】半透明膜パターン単層膜で形成する際に満足すべき光学定数の範囲及び光学定数の実測値を示す特性図、

【図15】Cr-CrO<sub>2</sub>における屈折率と消費係数との関係を示す特性図、

【図16】Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>における屈折率と消費係数との関係を示す特性図、

【図17】Ti-TiO<sub>2</sub>における屈折率と消費係数との関係を示す特性図、

【図18】GaAs-GaAsO<sub>2</sub>における屈折率と消費係数との関係を示す特性図、

【図19】理想的なハーフトーン位相シフト膜の構造を示す断面図、

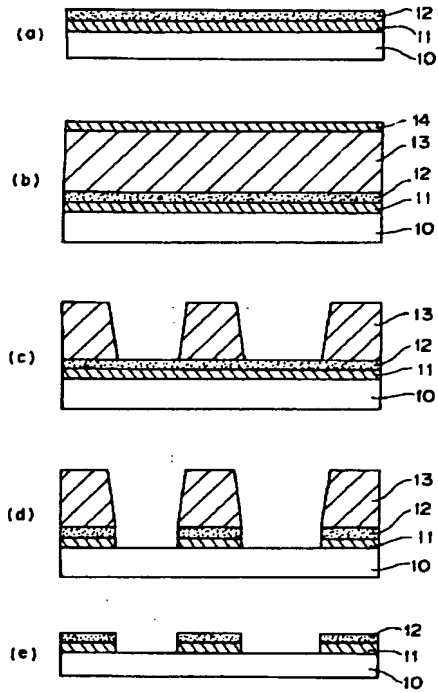
【図20】従来例のハーフトーン位相シフト膜を用いて露光を行う場合のパターン領域外のパターンおよび露光状態を示す図

【図21】従来例のハーフトーン位相シフト膜を用いて露光を行った場合の露光後のパターン領域の状態を示す図

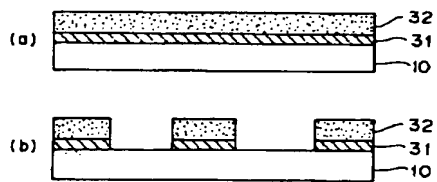
【符号の説明】

- 10…透光性基板、
- 11…シリコン膜、
- 12…Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜、
- 13…レジスト、
- 14…導電性膜、
- 21…Cr膜、
- 22…CrO<sub>2</sub>膜、
- 31…Al膜、
- 32…Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜、
- 41…Ti膜、
- 42…TiO<sub>2</sub>膜、
- 60 石英基板
- 61 アモルファスシリコン膜
- 62 酸化シリコン膜
- 63 第2のアモルファスシリコン膜
- 64 レジスト
- 65 塗布性導電膜
- 66 電子線レジスト
- 67 塗布性導電膜
- 70 石英基板
- 71 Cr膜
- 72 塗布硝子層
- 73 Cr膜
- 74 電子線レジスト

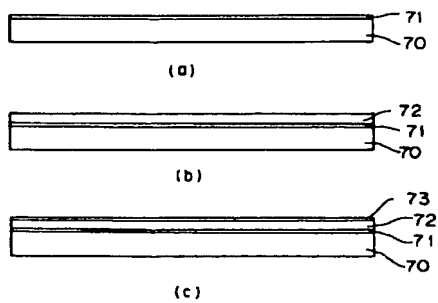
【図1】



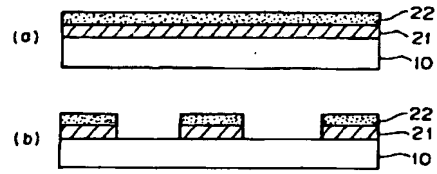
【図3】



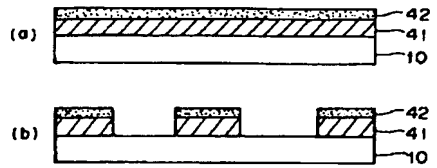
【図7】



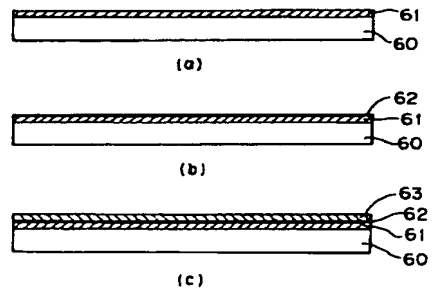
【図2】



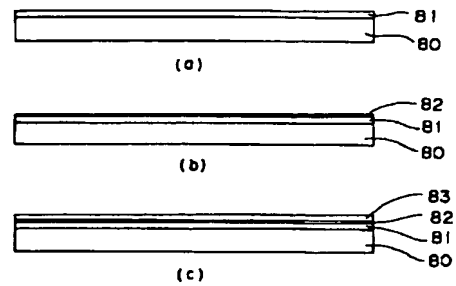
【図4】



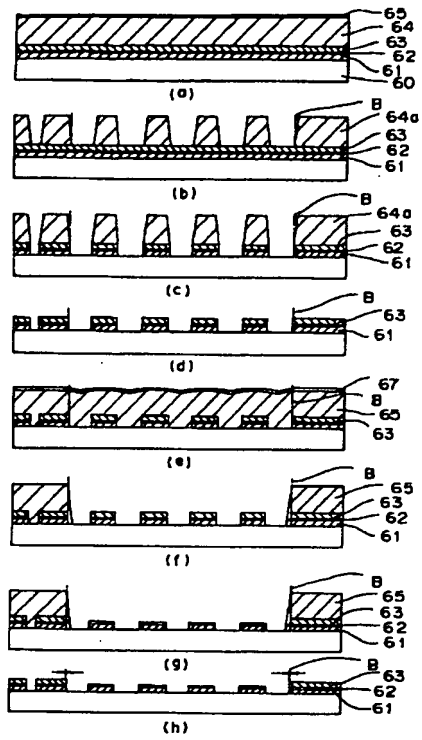
【図5】



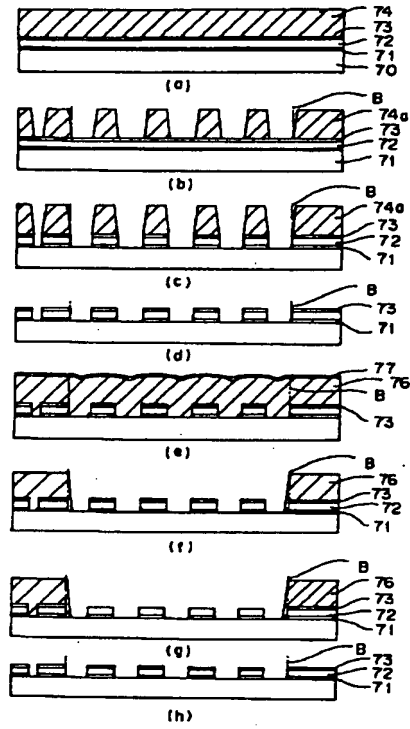
【図9】



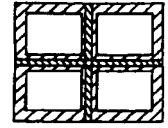
【図6】



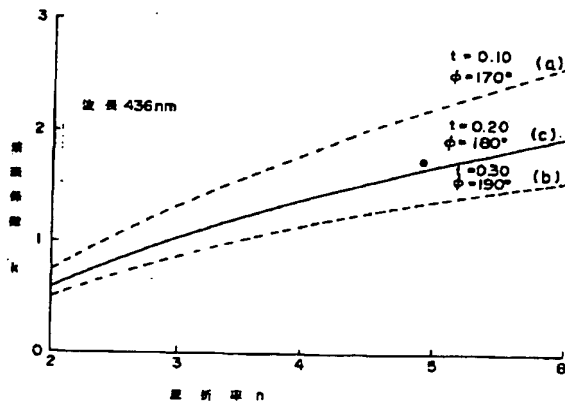
【図8】



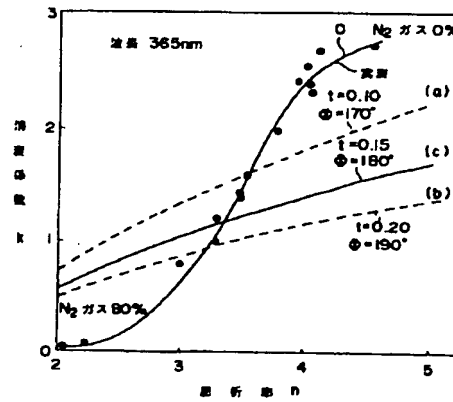
【図21】



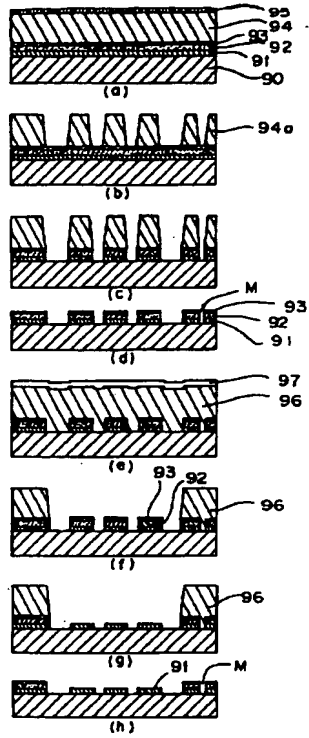
【図12】



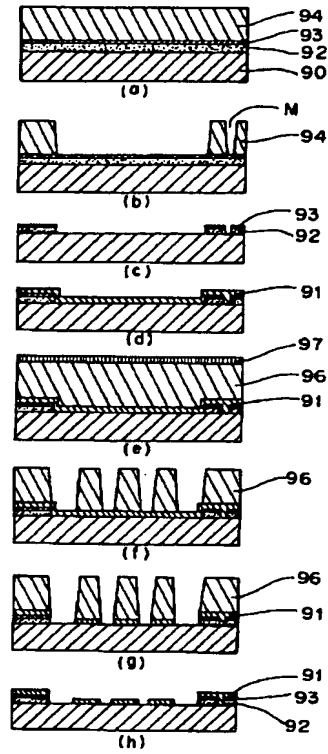
【図13】



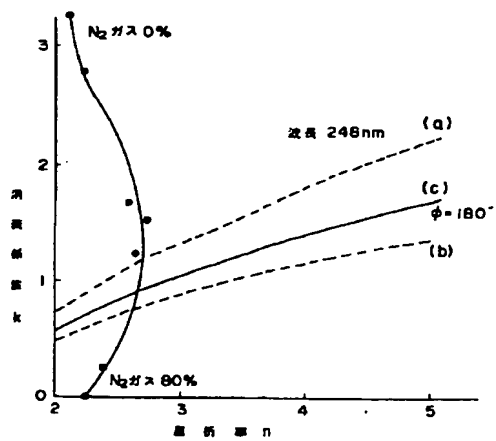
【図10】



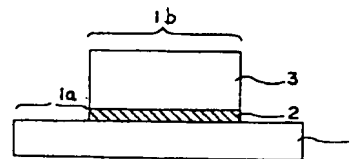
【図11】



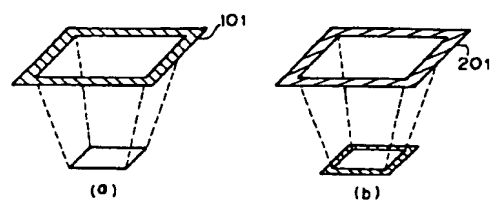
【図14】



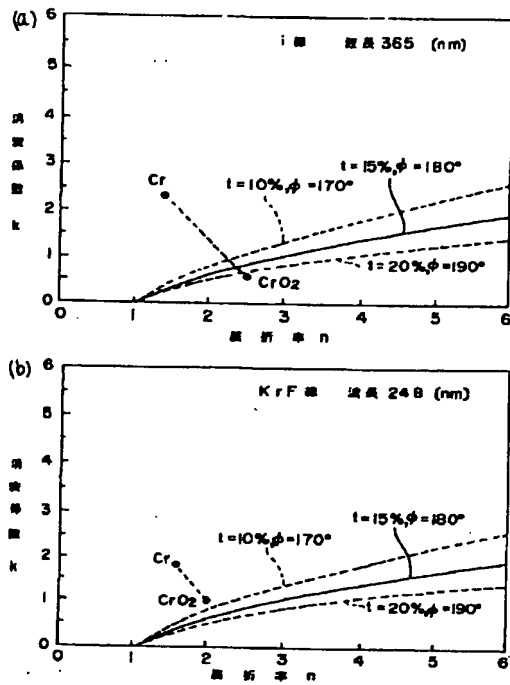
【図19】



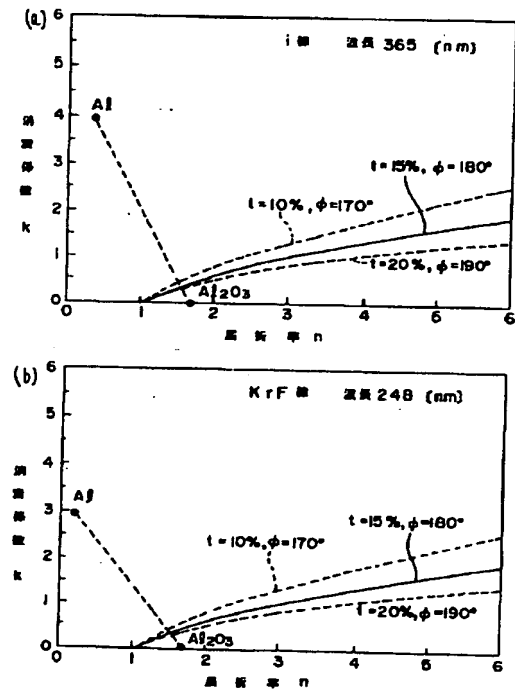
【図20】



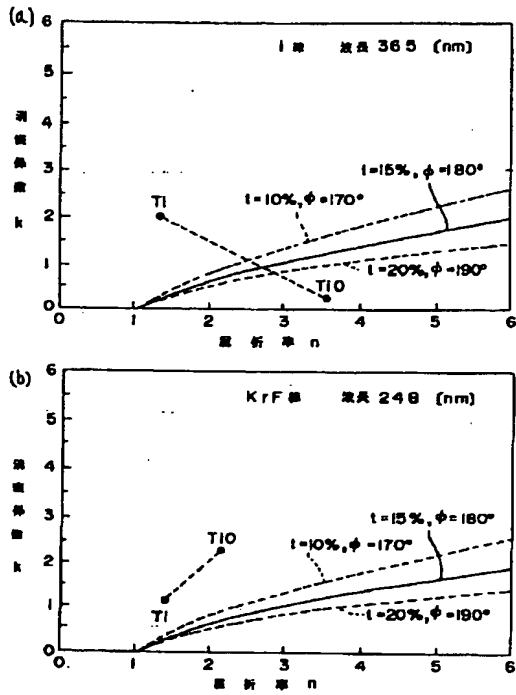
【図15】



【図16】



【図17】



【図18】

